KKU Engineering Journal

http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/

การกระจายตัวของขนาดเม็ดทรายบริเวณชายหาดชะอำ

Grain size distribution along CHA-AM beach

ชมพูนุท ชิวารักษ์ ณฐพร เหมจั่น พิมลมาศ พิลาไชย กิรพัฒน์ พชรพิชชากร* และ สมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง

Chompoonuth Chiwaruck, Nataporn Hamjun, Phimolmas Philachai, Kirapak Putcharapitchakon* and Sompratana Ritphring

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 10900

Received July 2012

Accepted December 2012

บทคัดย่อ

การศึกษาด้านตะกอนชายฝั่งทะเลในประเทศไทยนับว่ามีอย่างจำกัด โดยทั่วไปเป็นการศึกษาในขั้นตอนความเหมาะสมเพื่อวางแผนโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเล และการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรม โดยดำเนินการสำรวจในระยะเวลาสั้นๆ ในพื้นที่เป้าหมาย ด้วยการเคลื่อนตัวของตะกอนมีอิทธิพลมาจากคลื่น การทราบถึงความสัมพันธ์นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเลในเชิงลึกที่เกี่ยวข้องกันตะกอนทรายต่อไป การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของตะกอนทรายบริเวณชายหาด และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของตะกอนทรายกับระยะห่างจากชายฝั่ง โดยการเก็บตัวอย่างทรายจำนวน 100 ตัวอย่าง ใน 10 แนวสำรวจ บริเวณชายหาดชะอำใต้ จ.เพชรบุรี มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่า บริเวณแนวคลื่นแตกตัวซึ่งมีลักษณะรูปตัดชายหาดเป็นแอ่งนั้น มีขนาดเฉลี่ยของตะกอนทรายสูงกว่าบริเวณอื่นในทุกแนวสำรวจ และแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของตะกอนทรายจะลดลงเมื่อระยะห่างจากฝั่งมากขึ้น ผลการศึกษานี้เป็นแนวทางเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมชายฝั่ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ : ตะกอนทราย ชายหาด คลื่นแตกตัว ชะอำ

Abstract

Studies of coastal sediment in Thailand are limited. Generally, they investigate appropriate steps for planning coastal area development, and the construction of engineering structure through short-term surveys in the target areas. Since sediment transport is caused by waves, understanding this relationship will be beneficial to the future studies of in-depth coastal engineering related to sediment. This study aims to analyze grain size distribution along the beach and investigate the relationship between average amount of sediment and distance from the coast by the collecting 100 sand samples in 10 survey lines around South Cha-Am Beach, Phetchaburi Province and testing them in the lab. It is found that the wave breaking areas which cut across the beach in the form of cavity consist of bigger average grain size than other survey lines. In addition, average sediment size tends to decrease when it is farther from the coast. This study is beneficial to future coastal engineering and other related research.

Keywords : Sand sediment zone, Breaking wave, Cha-Am beach

*Corresponding author. Tel.:+66 8902-33943; fax: +66-2579-1567

Email address: Kirapak@yahoo.com

1.บทนำ

ชายฝั่งทะเลของประเทศไทยประกอบด้วยชายหาดที่มีลักษณะเป็นหาดทราย 51.80% หาดหินและกรวด 10.36% หาดโคลนและทรายปนโคลน 32.42% นอกจากนี้เป็นพื้นที่ชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำและพื้นที่ถมทะเลรวมกันทั้งสิ้น 5.43% [1] และพบว่า ชายฝั่งทะเลประเภทหาดทรายมีมากกว่าหาดประเภทอื่น โดยมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 1,354 กิโลเมตร ลักษณะที่แตกต่างกันของชายหาดนี้เป็นผลมาจากประเภทของวัสดุที่มาล่อเลี้ยงชายหาด รวมถึงกระบวนการทางชายฝั่งทะเลที่มีอิทธิพลต่อชายหาดบริเวณนั้นๆ วัสดุที่เป็นตัวกำเนิดชายหาดนั้นมีที่มาที่แตกต่างกัน โดยอาจปะปนมากับลำน้ำที่ไหลลงสู่ทะเล พัดพามาโดยแรงลม ถูกเคลื่อนย้ายโดยคลื่นและกระแสน้ำชายฝั่งทะเล อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอื่นๆรวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ [2] กระบวนการที่กล่าวมานี้ส่งผลให้ตะกอนที่มาหล่อเลี้ยงชายหาดมีลักษณะที่แตกต่างกันทั้งขนาดและปริมาณ

การกระจายของขนาดตะกอนทรายชายหาดตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง ภายใต้อิทธิพลของคลื่นแตกตัว (Breaking Waves) และบริเวณที่มีกระแสน้ำที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของตะกอน (Surf Zone) เป็นพื้นฐานสำหรับการทำความเข้าใจในกระบวนการขนส่งตะกอน (Sediment-transport) และการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัณฐานวิทยาทางชายฝั่ง ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดตะกอนทรายตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง นำไปสู่การใช้งานทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง เช่น การสรรหาขนาดทรายที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงชายหาดโดยการเติมทราย หรือการออกแบบโครงสร้างสำหรับชายฝั่ง [3]

อย่างไรก็ตาม การศึกษาตะกอนบริเวณพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) มีการศึกษาเป็นจำนวนมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะเรื่องปริมาณของตะกอนบริเวณพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง เช่น Fairchild 1977, Nielsen 1984, Zampol and Inman 1989, Zampol and Waldorf 1989, Greenwood et al. 1991, Barkaszi and Dally 1992, Hay and Sheng 1992, Crawford and Hay 1993 [4-11] เป็นต้น แต่มีการศึกษาในเรื่องการกระจายของขนาดตะกอนทรายชายหาดตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง ค่อนข้างน้อย

Horikawa (1988) [12] สำรวจการกระจายของขนาดตะกอนทรายตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง แสดงการกระจายขนาดตะกอนตามแนวรูปร่างของชายหาดของแนวชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิค ประเทศอเมริกา โดยเป็นข้อมูลเฉพาะของบริเวณน้ำขึ้นน้ำลงปานกลาง ซึ่งคลื่นกระทำต่อตะกอนทรายตลอดเวลา พบว่าเม็ดทรายขนาดใหญ่มีอยู่สองจุด คือ ตำแหน่งที่คลื่นแตกตัวและประมาณกึ่งกลางของหน้าหาด นอกจากนี้ยังพบขนาดมัธยฐานของเม็ดทรายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความลาดชันของชายหาดมากกว่า 1:10

Nielsen (1983, 1991) [13-14] ศึกษาการกระจายของขนาดตะกอนทรายตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง พบว่ากลไกที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของขนาดตะกอนมีความแตกต่างกัน สำหรับขนาดของตะกอนที่ไม่เท่ากัน และพบว่าการกระจายตัวของตะกอนละเอียดตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง อยู่นอกเหนืออิทธิพลของคลื่นแตกตัว (Nonbreaking Waves) หากแต่ถูกควบคุมโดยกลไกในการแพร่ (Diffusive) ในขณะที่อิทธิพลของคลื่นแตกตัวส่งผลต่อการพัดพาของตะกอนหยาบ

การศึกษาด้านตะกอนชายฝั่งทะเลในประเทศไทยนับว่ามีอย่างจำกัดมาก โดยทั่วไปเป็นการศึกษาในขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมเพื่อวางแผนโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเล และการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรม โดยดำเนินการสำรวจในระยะเวลาสั้นๆ ในพื้นที่เป้าหมายโครงการเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของตะกอนทราย ดังเช่นโครงการที่ดำเนินการโดยกรมเจ้าท่า กรมทรัพยากรธรณี และกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เป็นต้น

สมปรารถนา (2554) [15] ศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนทราย ตั้งแต่ปลายแหลมตะลุมพุก จ.นครศรีธรรมราช ถึงปลายแหลมตาชี จ.ปัตตานี จำนวน 60 ตำแหน่ง โดยทำการสำรวจทั้งสิ้น 3 ครั้ง คือ ช่วงก่อนฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และหลังฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของตะกอนทรายชายฝั่งทะเลในแต่ละพื้นที่และการผันแปรตามฤดูกาล พบว่าตะกอนมีคุณลักษณะเป็นทรายละเอียดถึงปานกลาง จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดคละเฉลี่ยของตะกอน ไม่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับระยะทางและทิศทางที่ตะกอนเคลื่อนตัว โดยพบว่าชายหาดมักมีความลาดชันต่ำและขนาดคละเฉลี่ยของตะกอนทรายต่ำในช่วงหลังฤดู

มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อันเนื่องมาจากการปรับสมดุลชายหาดหลังฤดูมรสุม และมีความผันแปรสูงบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มขนาดคละเฉลี่ยของตะกอนมีค่ามากขึ้นตามความลาดชันชายหาดที่เพิ่มมากขึ้นในทุกการช่วงเวลาสำรวจ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจรูปตัดชายหาดและเก็บตัวอย่างตะกอนทรายภาคสนาม บริเวณชายหาดชะอำใต้ จ.เพชรบุรี จำนวน 100 ตำแหน่ง เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของตะกอนทรายชายฝั่งทะเลในแต่ละตำแหน่งสำรวจ การผันแปรตามระยะห่างฝั่ง ตลอดจนความสัมพันธ์กับความลาดชันชายหาด วัตถุประสงค์ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของตะกอนกับระยะห่างจากชายฝั่ง และวิเคราะห์การกระจายตัวของตะกอนทรายชายฝั่งทะเลในแต่ละตำแหน่งสำรวจ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษาการกระจายของขนาดตะกอนทรายชายหาดตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง พื้นที่ศึกษาคือ บริเวณชายหาดชะอำใต้ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีตั้งอยู่ละติจูดที่ 12°47'34.92"เหนือ ลองติจูดที่ 99°59'0.22" ตะวันออก การศึกษาอาศัยพื้นที่ศึกษาดังกล่าวเนื่องจาก ชายหาดชะอำมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม คือ มีลักษณะเป็นหาดทรายยาว ความลาดชันน้อยเหมาะแก่การสำรวจระยะแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง และสามารถศึกษาพฤติกรรมของคลื่นได้ชัดเจน

ลักษณะกายภาพของชายหาดชะอำ ชายหาดตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน เป็นที่ราบสลับกับเนินสูงต่ำเล็กน้อย ชายหาดมีลักษณะเป็นหาดทรายยาว ความยาวชายหาดประมาณ 20 กิโลเมตร เป็นแหล่งเศรษฐกิจด้านการท่องเที่ยวที่สำคัญ ลักษณะทางกายภาพของชายหาดชะอำแสดงดังรูปที่ 1

สภาพทางอุตุนิยมวิทยาของชายหาดชะอำ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งจะพัดพาความชุ่มชื้นจากอ่าวไทยเข้าฝั่งทำให้ฝนตก คลื่นลมแรงบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน และในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนช่วงลมมรสุมเปลี่ยนทิศคลื่นลมจะค่อนข้างสงบ [1]

รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของชายหาดชะอำ

2.2 วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาโดยทำการสำรวจรูปตัดชายหาดและเก็บตัวอย่างตะกอนทรายภาคสนาม บริเวณชายหาดชะอำใต้ จ.เพชรบุรี จำนวน 100 ตำแหน่ง เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดตะกอนทรายชายฝั่งในแต่ละตำแหน่งที่ทำการสำรวจ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดเฉลี่ยตะกอนทรายกับระยะห่างฝั่ง

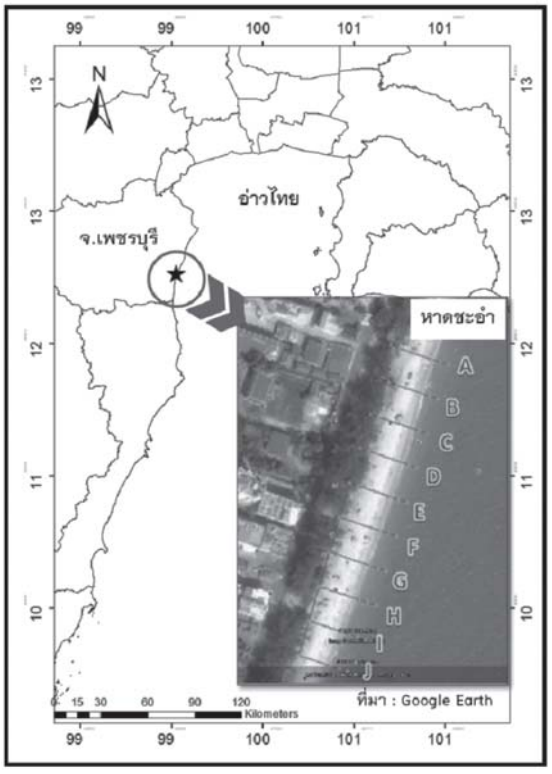
2.2.1 วิธีการสำรวจและเก็บตัวอย่างตะกอนทราย

การสำรวจชายหาดเก็บตัวอย่างตะกอนทราย ทำโดยการสำรวจตลอดแนวความยาวเป็นระยะทางในแนวขนานกับชายหาด ทั้งหมด 180 เมตร โดยแบ่งแนวการเก็บตัวอย่างเป็นแนวตั้งฉากกับชายหาด จำนวน 10 แนว โดยแต่ละแนวมีระยะห่างกัน 20 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนทรายแนวละ 10 จุด แต่ละจุดมีระยะห่างกัน 5 เมตร การแบ่งแนวสำรวจและเก็บตัวอย่างตะกอนทรายอาศัยสัญลักษณ์เป็นอักษร A-J ทำการเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างละไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลกรัม รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง การเก็บตะกอนจะเก็บบริเวณระดับผิวหาด ระดับความลึก 2-3 ซม. โดยตำแหน่งการสำรวจชายหาดและตำแหน่งการเก็บตัวอย่างทราย แสดงดังรูปที่ 2 การสำรวจและเก็บตะกอนทรายดำเนินการในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากมรสุมค่อนข้างน้อย

2.2.2. วิธีการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดเฉลี่ยตะกอนทราย

การหาการกระจายของขนาดตะกอนทราย อาศัยการวิเคราะห์โดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) ใช้มาตรฐาน US Standard ในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จะได้กราฟแสดงลักษณะการกระจายขนาด

ของตะกอนทรายแต่ละตัวอย่าง ทำการหาเฉลี่ยของตะกอนทราย (D_{50}) และวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดเฉลี่ยของตะกอนทราย (D_{50})

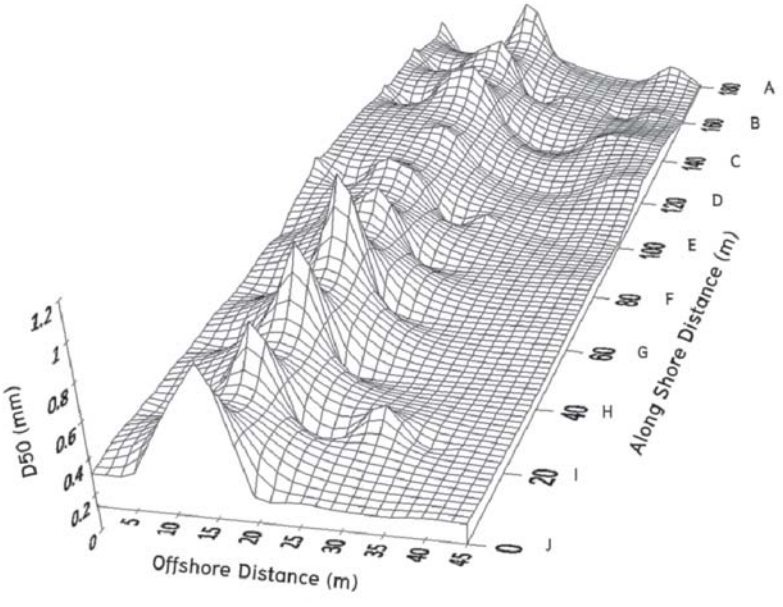


รูปที่ 2 ตำแหน่งการสำรวจชายหาดและตำแหน่งการเก็บตัวอย่างทราย

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

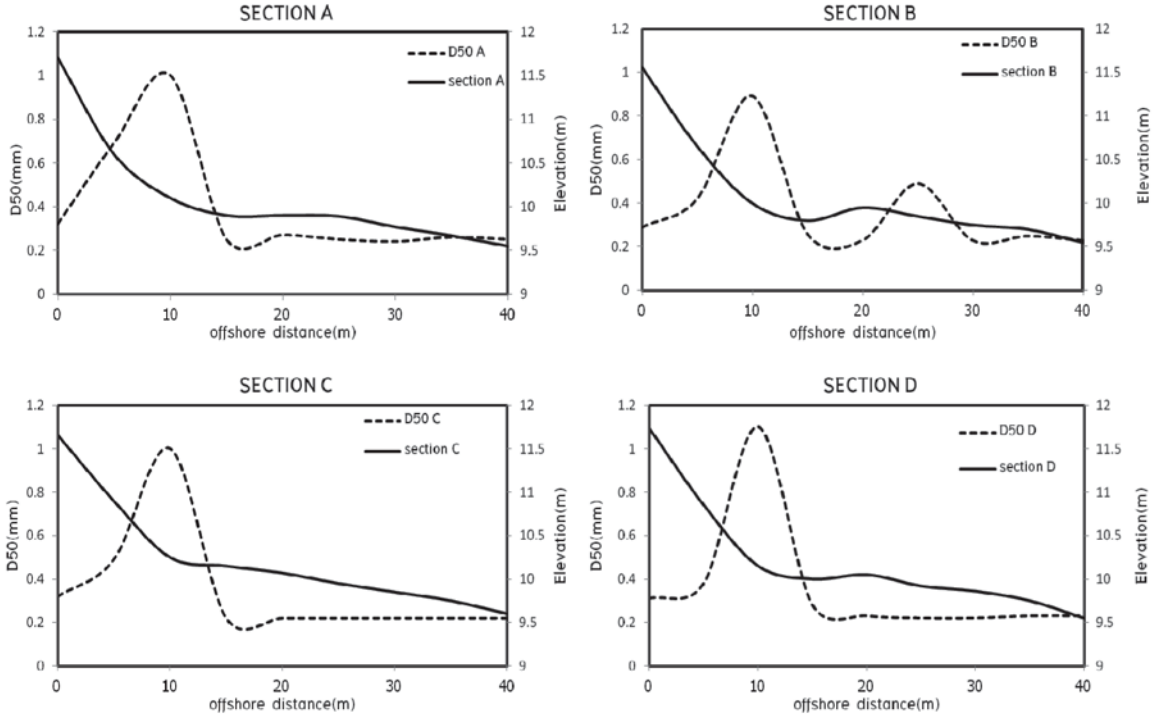
ผลการศึกษานำเสนอในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของขนาดเฉลี่ยของตะกอนทราย (D_{50}) กับระยะตั้งฉากจากชายฝั่ง (Offshore Distance) และแสดงการกระจายของตะกอนทรายตามแนวรูปร่างของชายหาด

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของตะกอน (D_{50}) กับระยะตั้งฉากจากชายฝั่ง (Offshore Distance) สามารถเห็นถึงลักษณะการเรียงตัวของตะกอนทรายชายหาดในแต่ละแนวที่สอดคล้องกัน พบว่า จากตำแหน่งเก็บตัวอย่างแรกระยะทาง 0 เมตร ห่างออกไป 10 เมตร มีขนาดของตะกอนทรายเฉลี่ยประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นขนาดของตะกอนทรายเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่ตำแหน่ง 15 เมตร ขนาดของตะกอนทรายเฉลี่ยมีประมาณ 0.8 มิลลิเมตร แล้วจึงลดลงเรื่อยๆ จนถึงตำแหน่งที่ห่างออกไป 20 เมตร ขนาดของตะกอนทรายเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 0.3 จนถึงระยะทาง 45 เมตร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของตะกอน (D_{50}) ในแต่ละตำแหน่งสำรวจ ดังรูปที่ 3

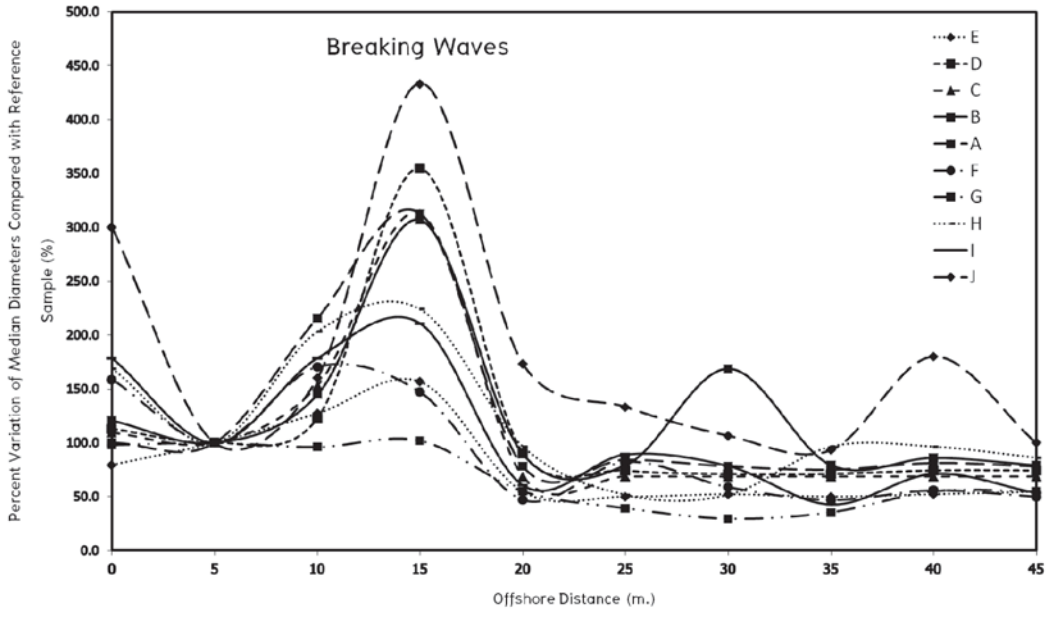


รูปที่ 3 การกระจายขนาดเฉลี่ยของตะกอน (D_{50}) แต่ละตำแหน่งสำรวจ

จากการวิเคราะห์การกระจายของขนาดตะกอนทรายแนวรูปตัดตามยาว พบว่า ที่ระยะ 15 เมตร มีค่าขนาดของตะกอนทรายเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบตามแนวรูปร่างชายหาดจริงแล้วเป็นแอ่งเว้าลงของรูปตัดตามยาวของชายหาด แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปตัดยาวของชายหาดและการกระจายตัวของขนาดตะกอนทรายเฉลี่ย (D_{50}) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดจากอิทธิพลของคลื่นแตกตัว (Breaking Waves) ก่อนที่คลื่นจะเข้าสู่ชายฝั่ง และกราฟแสดงการกระจายของขนาดตะกอนทรายตามแนวรูปร่างของชายหาด ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของขนาดตะกอนทรายเฉลี่ยเทียบกับจุดอ้างอิง (Percent Variation of Median Diameters Compared with Reference Sample) และระยะตั้งฉากกับชายฝั่ง (Offshore Distance) แสดงดังรูป 5 พบว่าเม็ดทรายขนาดใหญ่ที่สุด คือ ตำแหน่งที่คลื่นแตกตัว สามารถเปรียบเทียบให้เห็นถึงแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างรูปตัดตามยาวของหาดกับขนาดเฉลี่ยของตะกอน ซึ่งเป็นจุดที่รูปหน้าตัดของชายหาดเว้าลงจะมีขนาดเฉลี่ยของตะกอน (D_{50}) สูงสุด เกิดจากอิทธิพลของคลื่นแตกตัว (Breaking Waves) ก่อนจะเข้ากระทบชายหาด ส่งผลให้คลื่นบริเวณดังกล่าวเกิดการความปั่นป่วน (Turbulent) ทำให้คลื่นไม่สามารถนำพาตะกอนขนาดใหญ่ไปได้ จึงเป็นผลให้บริเวณดังกล่าวมีขนาดของตะกอนที่ใหญ่กว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปตัดยาวของชายหาดและการกระจายตัวของขนาดตะกอนทรายเฉลี่ย (D_{50})



รูปที่ 5 การกระจายของขนาดตะกอนทรายตามแนวรูปร่างของชายหาด

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของตะกอน (D_{50}) กับระยะห่างจากชายฝั่ง (Foreshore Slope) และวิเคราะห์การกระจายตัวของตะกอนทรายในแต่ละตำแหน่งสำรวจ โดยมีพื้นที่ศึกษาบริเวณชายหาดชะอำใต้ จ.เพชรบุรี ผลการศึกษาพบว่า บริเวณที่เกิดคลื่นแตก ตัวมีขนาดเฉลี่ยของตะกอนทรายใหญ่กว่าบริเวณอื่น และเมื่อพิจารณารูปตัดชายหาดพบว่าบริเวณดังกล่าวมีลักษณะเป็นแอ่ง และแนวโน้มขนาดเฉลี่ยของตะกอนทรายจะลดลงเมื่อระยะห่างจากฝั่งมากขึ้น ผลการศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นซึ่งพบข้อจำกัดของการศึกษา เกี่ยวกับองค์ประกอบทางด้านรูปร่างและทางเคมีของตะกอนทราย รวมถึงพลังงานจลน์ของคลื่นแตกตัว ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษาและพัฒนางานวิจัยในอนาคต เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมชายฝั่ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก JICA และJSPS ภายใต้โครงการ IMPAC-T และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Marine and Coastal Resources. 2011 [updated 2011; cited 2011]. .Available from:URL:http://www.dmcr.go.th/marinecenter/coastalzone-lesson5.php (In Thai).

[2] Bird E. Coastal Geomorphology an Introduction: John Wiley&Sons Ltd: 2007; 411p.

[3] Wang P, Richard A, Davis JR and Nicholas C. Cross-Shore Distribution of Sediment Texture Under Breaking Waves Along Low-Wave-ENErgy Coasts. *Journal of sedimentary Research. 1989; 68(3): p.497-506.*

[4] Fairchild J.C. Suspended sediment in the littoral zone at Ventnor, New Jersey and Nags Head, North Carolina: US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center; Technical Paper 77-5.1977;97p.

[5] Nielsen P. Field measurements of time-averaged suspended sediment concentrations under waves, Coastal Engineering.1984; 8:p.51–72.

[6] Zampol JA, Inman DL. Suspended sediment measurements; A. Discrete measurement of suspended sediment. In Seymour, RJ, ed., Nearshore Sediment Transport: New York, Plenum. 1989; p. 259–272.

[7] Zampol JA, Waldorf BW. Measuring sediment dynamics; A. Discrete sampling of bedload and suspended load, in Seymour. R.J., ed., Nearshore Sediment Transport: New York, Plenum. 1989; p. 79–89.

[8] Greenwood B, Osborne PD, Bowen AJ. Measurements of suspended sediment transport: prototype shorefaces: American Society of Civil Engineers, Coastal Sediments'91, Proceedings. 1991; p. 284–299.

[9] Barkasai SF, Dally WR. Fine-scale measurement of sediment suspension by breaking waves at SUPERTANK: American Society of Civil Engineers, 23rd Coastal Engineering Conference, Proceedings. 1992; p. 1910–1923.

[10] Hay AE, Sheng J. Vertical profiles of suspended sand concentration and size from multifrequency acoustic backscatter: Journal of Geophysical Research. 1992; 97: p. 15,661–15,677.

[11] Crawford AM, Hay AE. Determining suspended sand size and concentration from multifrequency acoustic backscatter: Acoustical Society of America Journal, 1993; 96: p.3312–3324.

[12] Horikawa KED. Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory, Measurement, and Predictive Models: University of Tokyo Press, Tokyo, 1988; 522 p.

[13] Nielsen P. Entrainment and distribution of different sand sizes under water waves: Journal of Sedimentary Petrology. 1983; 53: p. 423–428.

[14] Nielsen P. Combined convection and diffusion: a new framework for suspended sediment modeling: American Society of Civil Engineers, Coastal Sediments '91, Proceedings, 1991; p. 419–431.

[15] Ritphring S. Shoreline change in the south of Thailand; causes and effects. Final report. Thai University For Healthy Public Policies; 2011. (In Thai).